

Messungen der Top-Quark Masse



Daniel Wicke
(Bergische Universität Wuppertal)



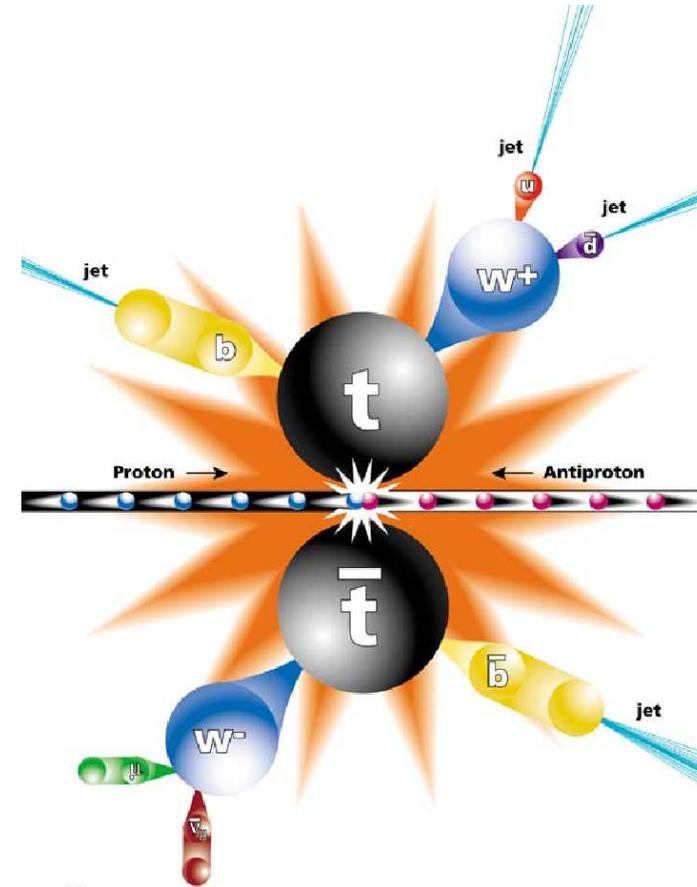
Überblick

- Einleitung
- Semileptonischer Kanal
- Dileptonischer Kanal
- Kombination
- Ausblick

Einleitung

Das Top-Quark

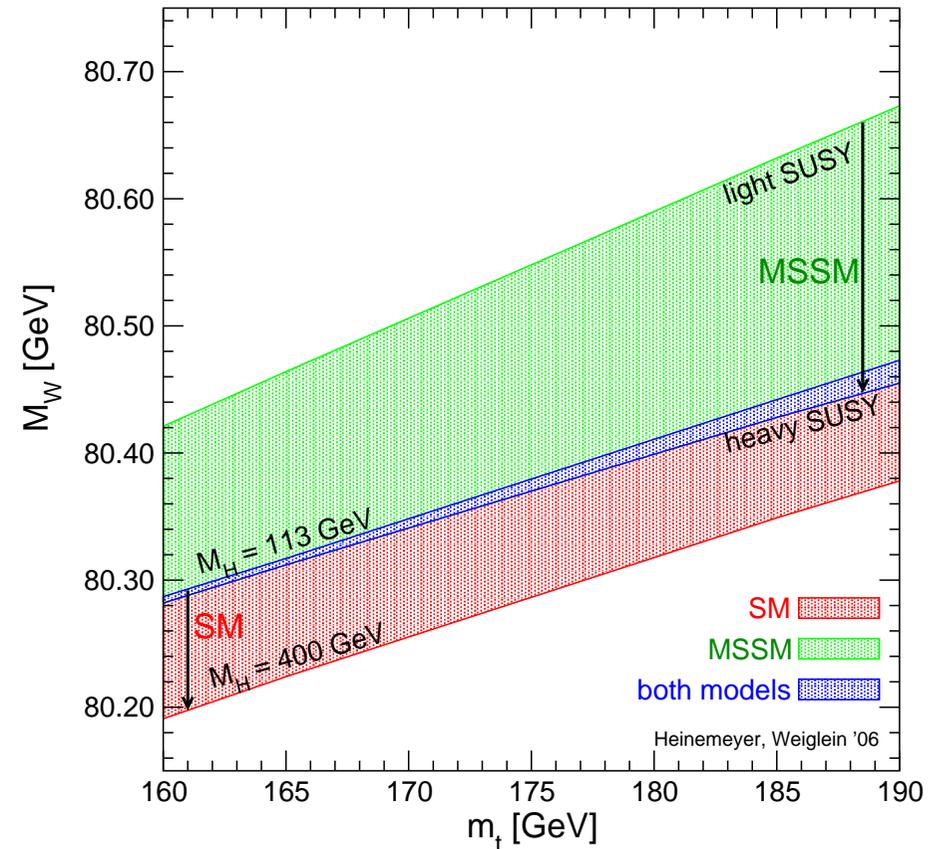
- 1995 von CDF und DØ entdeckt.
- Komplettiert die Quarks des Standardmodells.
- Quantenzahlen wie bei u -artigen Quarks.
- Produktion und Zerfalleigenschaften im Standardmodell vollständig festgelegt.
- Lediglich die Masse ist ein freier Parameter.



Nur wenige der vorhergesagten Eigenschaften sind experimentell verifiziert

Relevanz der Top Masse

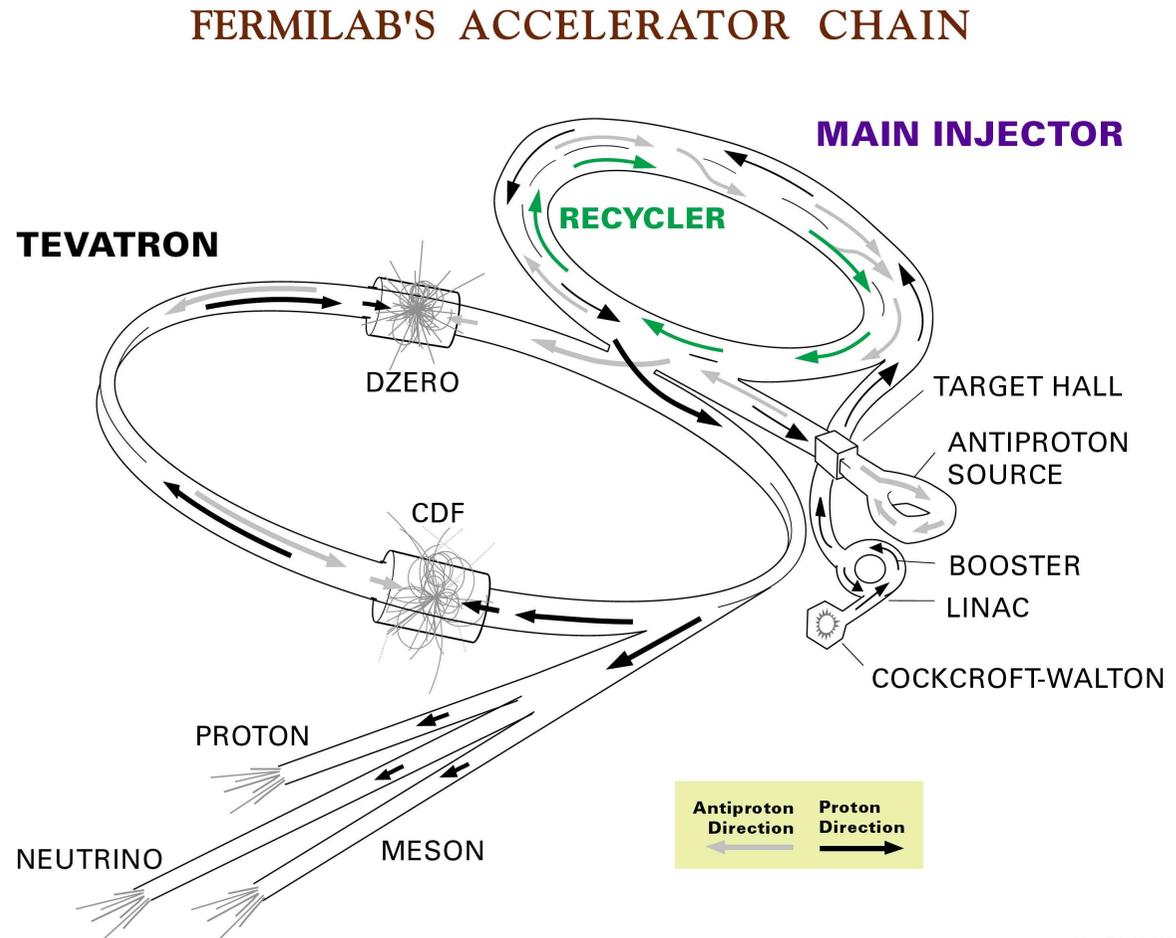
- Strahlungskorrekturen zu elektroschwachen Observablen abhängig von der Top Masse.
- Erlaubt Vorhersage der Higgs Masse
 - Unterscheidung zw. SM und Erweiterten Modellen.
- Nach H -Entdeckung:
 - Konsistenztest des SM.



Der $p\bar{p}$ -Beschleuniger Tevatron

Einziges Labor für Top Physik bis LHC startet.

- Umfang 7 km.
- $p\bar{p}$ Kollisionen
- Run I (1987-1995)
- Run II (seit 2001)
Schwerpunktenergie
1.96 TeV
- 2 Experimente,
CDF und DØ.



Fermilab 00-635

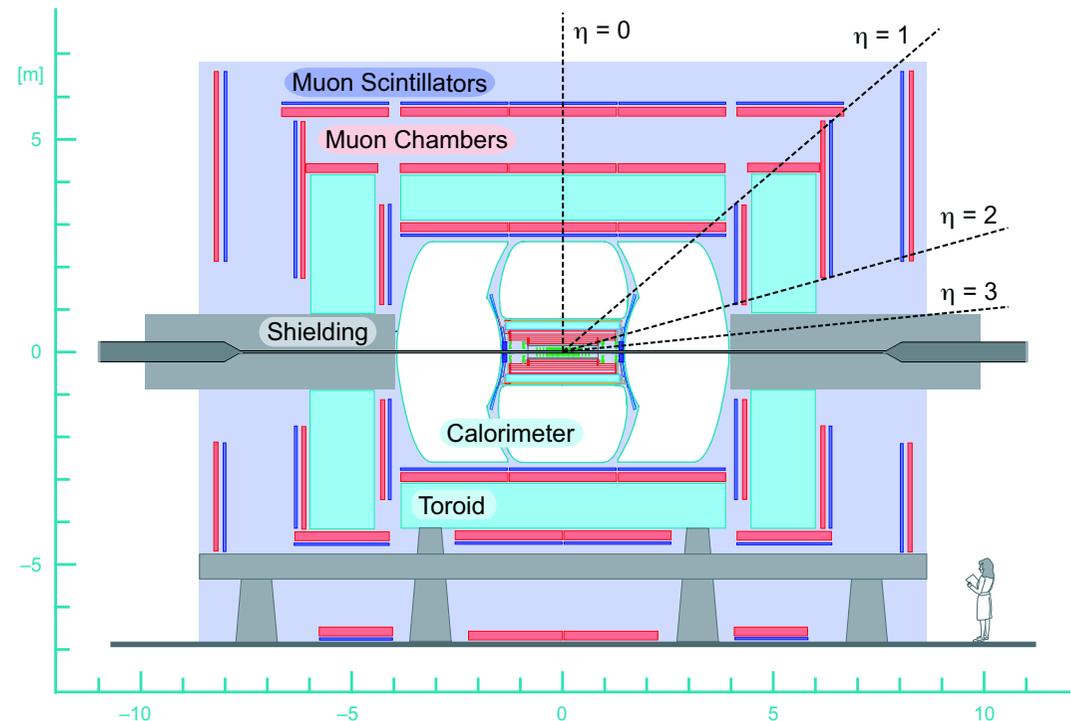
Das Tevatron



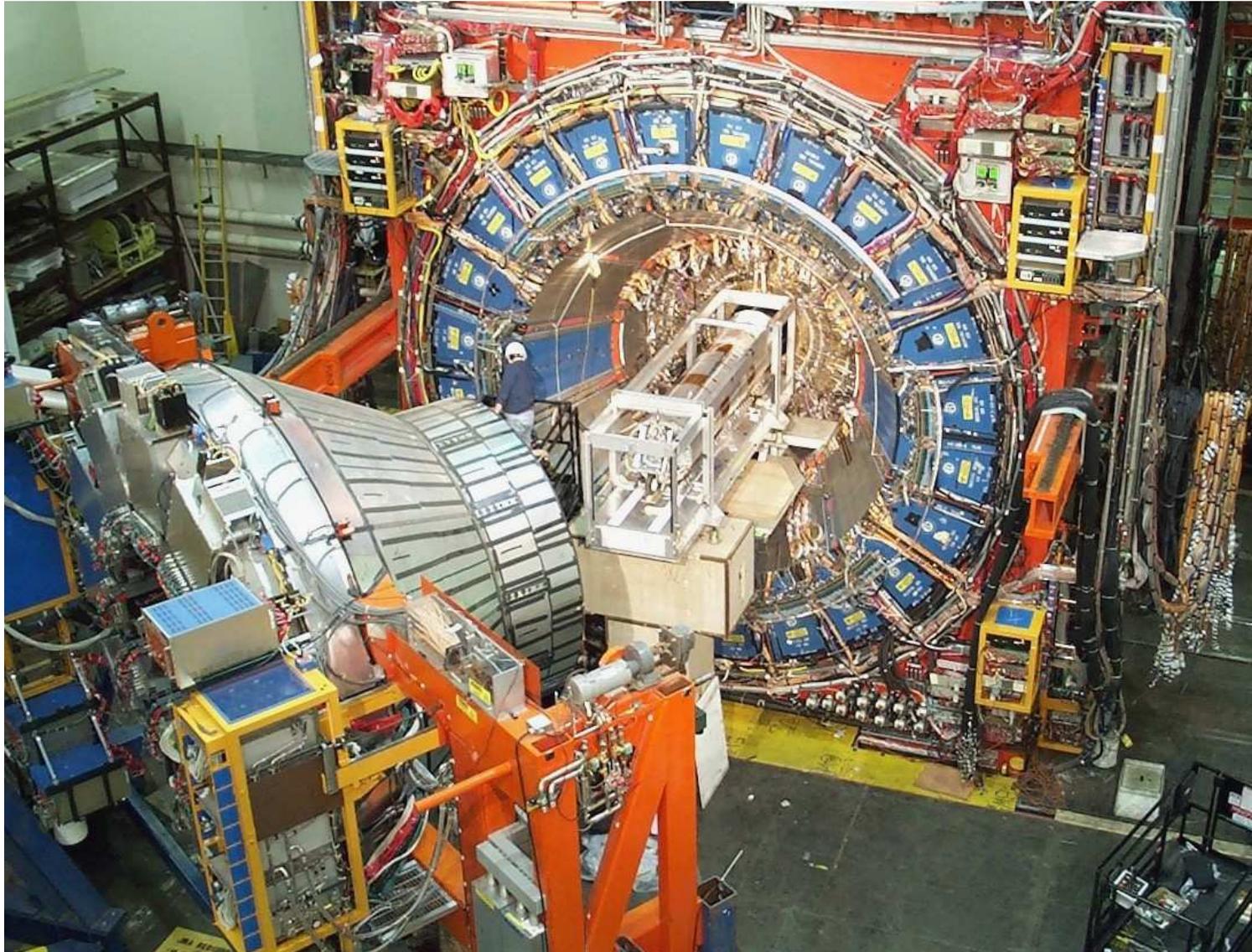
Der DØ Detektor

Universeller Detektor mit 4π Abdeckung: Dimensionen: $12 \times 12 \times 20\text{m}^3$

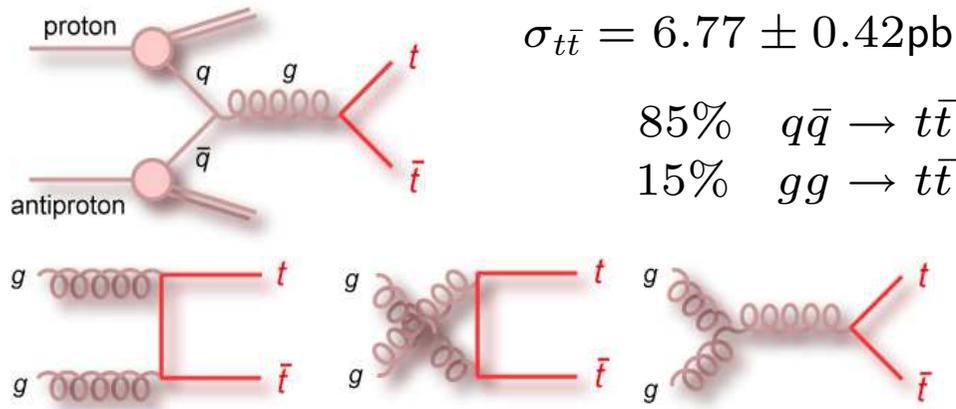
- Spurdetektoren in 2T Solenoid
 - Silizium Mikrostreifen
 - Szintillierende Fasern
- Kalorimetrie
 - Uran/Flüssigargon
- Myonspektrometer
 - 3 Lagen Drifttubes
 - Toroidales Magnetfeld (1.9T zw. 2 inneren Lagen)



Der CDF Detektor



Top-Quark Paarproduktion am Tevatron



Bei integrierter Luminosität von $\sim 1 \text{ fb}^{-1}$: 7000 Toppaare erwartet.

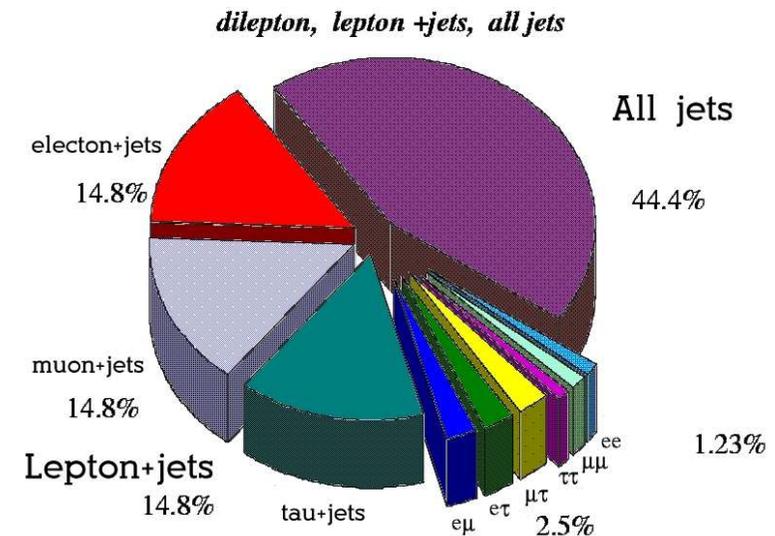
Aktuell 30 – 80% analysiert.

Signaturen

Zerfall zu (fast) 100% in bW .

Kanäle durch W -Zerfälle definiert:

- Dilepton $(2b + 2l + 2\nu)$
- Lepton+jets $(2b + 2q + l\nu)$
- Alljets $(2b + 4q)$



Semileptonischer Kanal

Signal Signatur

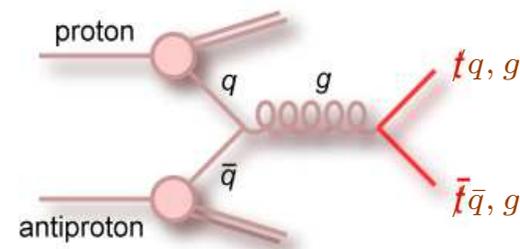
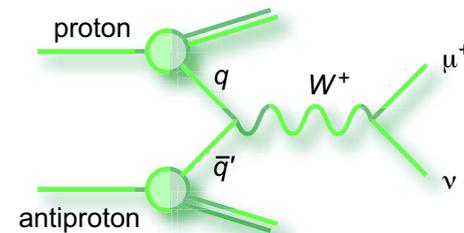
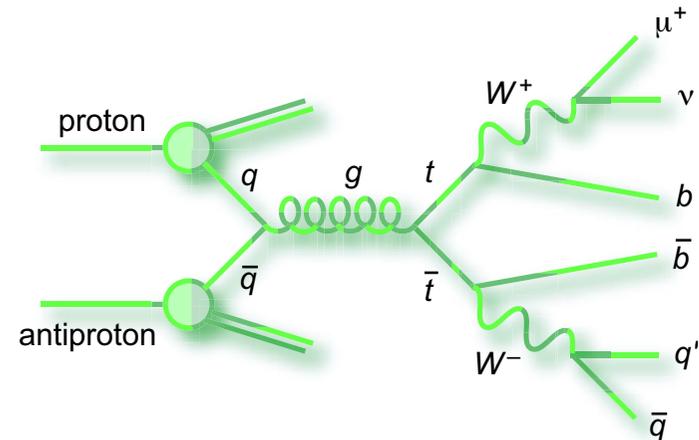
- Lepton (e, μ)
- Neutrino (\cancel{E}_T)
- min. 4 Jets (2 aus b -Quarks)

(Vor)Selektion

- Selektion wie bei Wirkungsquerschnitt
- 4 jets, iso. Lepton, \cancel{E}_T . $J_e > 20$ GeV.

Untergrundklassen

- W +jets; physikalischer Untergrund
- Multijet (QCD); instrumenteller U.

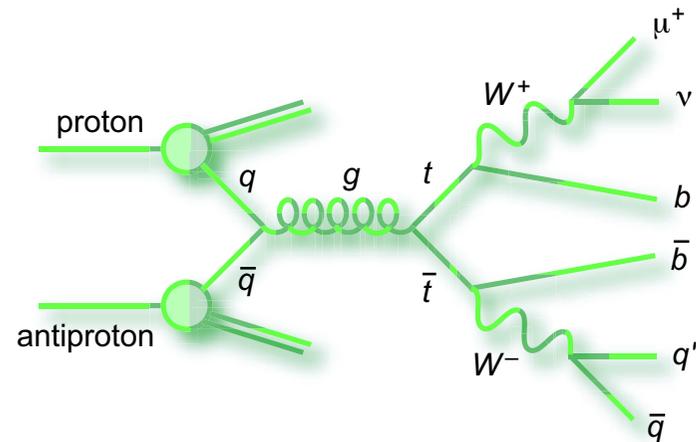


Template Methode (CDF)

Signal Sample

- Vier verschiedene Ereignistypen:
0 b -tag, 1 b -tag loose, 1 b -tag tight, 2 b -tag

Bestimmung der Topmasse



Rekonstruktion der Viererimpulse der t -Quarks in jedem einzelnen Ereignis

- Rekonstruktion des ν Impulses
- (Korrekte) Assoziation von $l\nu$ und 4 Jets zu 2 Top-Quarks
- Summe der assoziierten Viererimpulse ergibt $m^2 = E^2 - \vec{p}^2$

In realitas mit Fit: Gleiche Topmassen und m_W nominal als Nebenbedingungen.
Präzise Impulsmessung & richtige Zuordnung entscheidend:
min. χ^2 Lösung verwendet.

Bestimmung der Topmasse (2)

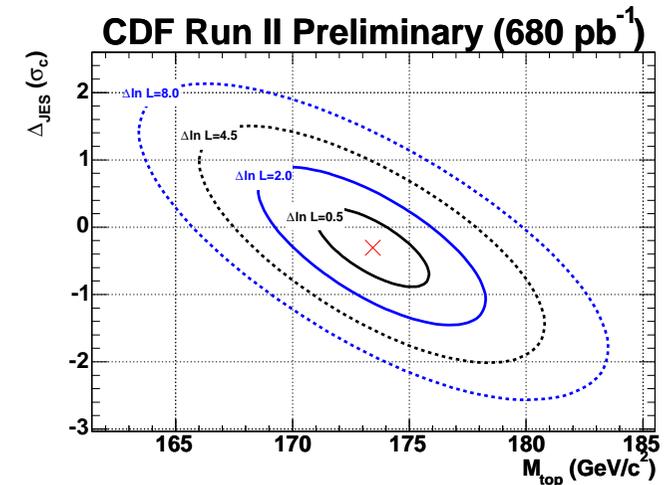
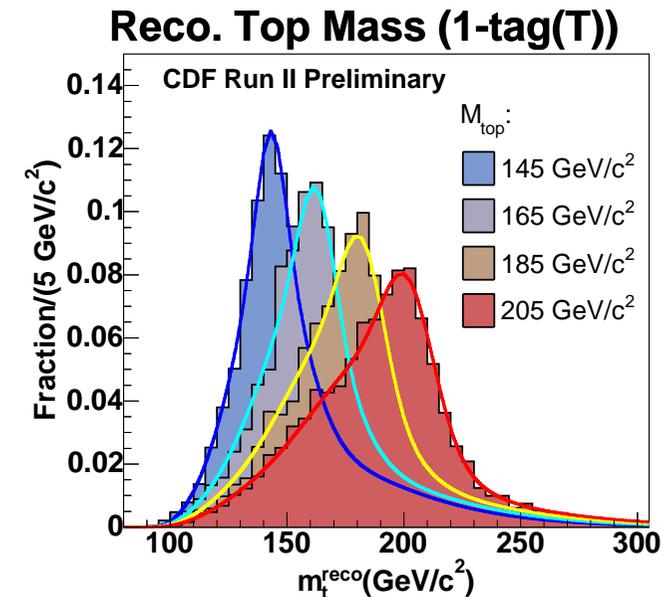
- Histogrammierte Topmassen.
- Vergleiche mit Simulation (Templates)
 - für verschiedene m_t und JES.
 - mit erwartetem Untergrundanteil
- Wähle m_t mit bester Übereinstimmung

Einschränkung der JES

- Templates für m_W rekonstruiert aus m_{jj} .
- Fit ohne Zwangsbedingung
- Alle Paarungen für nicht b -tagged Jets

Topmasse und JES aus 2d-Fit (680 pb^{-1}):

$$m_t = 173.4 \pm 2.5(\text{stat} + \text{JES}) \pm 1.3(\text{syst}) \text{ GeV}$$



Ideogramm Methode (DØ)

Kann man Information aller möglichen Assoziationen von Jets zu Partonen nutzen?

Rekonstruiere m_t wie zuvor in jedem Ereignis.

Gewichte Ereignisse und jede Assoziation

$$P_{\text{evt}}(x; m_t) = f_{\text{top}} P_{\text{sgn}}(x; m_t) + (1 - f_{\text{top}}) P_{\text{bkg}}(x)$$

$$P_{\text{sgn}}(x; m_t) = \sum_{\text{Kombinationen}} w_i \left(f \int_{100}^{300} \underbrace{\mathbf{BW}(m', m_t)}_{\text{rel. Breit-Wigner}} \underbrace{\mathbf{G}(m', m_t, \sigma_i)}_{\text{exp. Auflösung}} dm' + \underbrace{(1 - f) S(m_i, m_t)}_{\text{falsche Kombinationen}} \right)$$

$$177.5 \pm 5.8(\text{stat}) \pm 7.1(\text{syst}) \text{ GeV} \quad (160 \text{ pb}^{-1})$$

Nutzt Information aus „falschen“ Assoziationen und Ereignisse mit > 4 Jets.

Matrix Element Methode (DØ)

Selektion

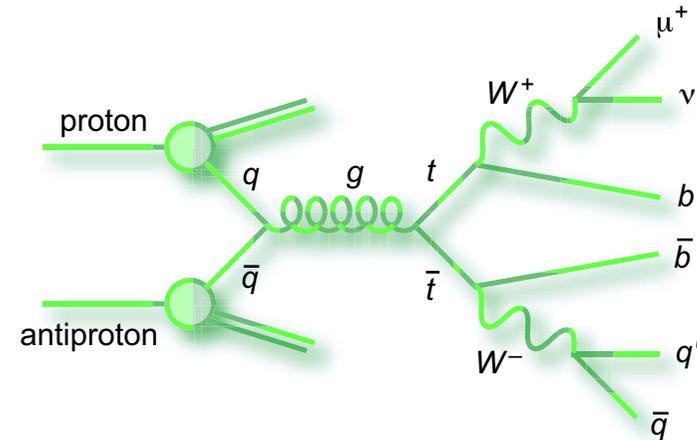
Zwei verschiedene: topologisch und b -tagged

Bestimmung der Topmasse

Wahrscheinlichkeit für jede kinematische Konfiguration x abhängig von m_t :

$$P_{\text{evt}}(x; m_t) = f_{\text{top}} P_{\text{sgn}}(x; m_t) + (1 - f_{\text{top}}) P_{\text{bkg}}(x)$$

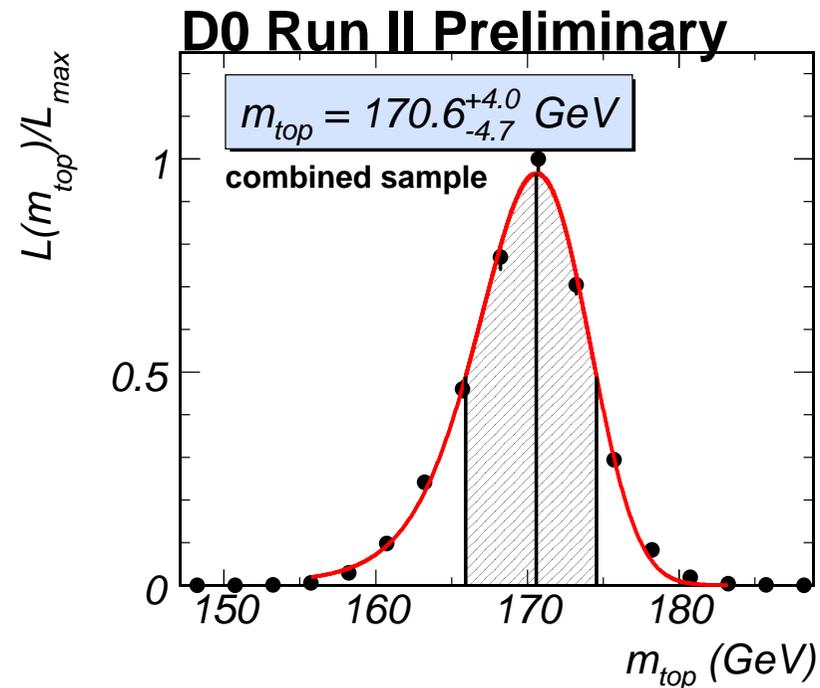
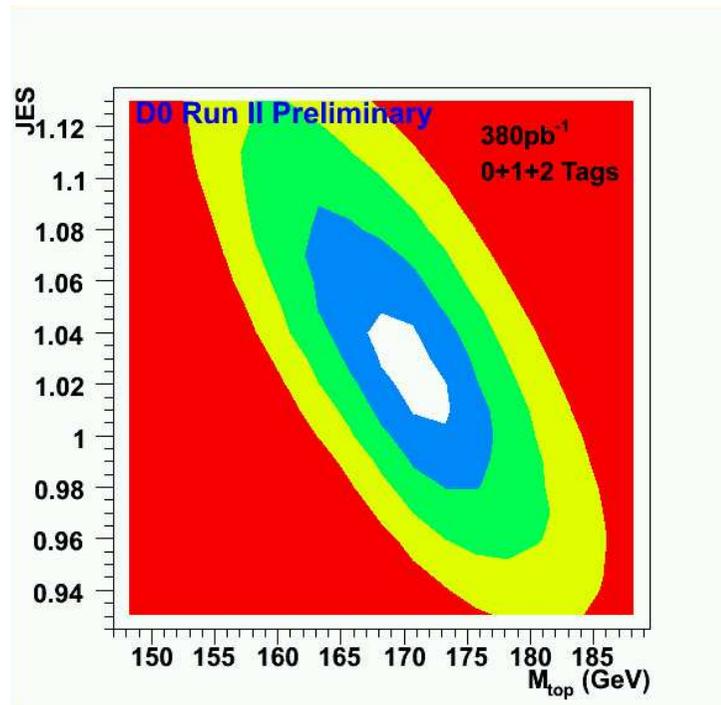
$$P_{\text{sgn}}(x; m_t) = \frac{1}{\sigma_{t\bar{t}}(m_t)} \int dq_1 dq_2 \underbrace{d^n \sigma(q\bar{q} \rightarrow t\bar{t} \rightarrow y; m_t)}_{\text{Matrix Element}} \underbrace{f(q_1) f(q_2)}_{\text{PDFs}} \underbrace{W(y, x; \text{JES})}_{\text{Auflösung}}$$



- ME sind $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$ und $q\bar{q} \rightarrow W + \text{jets}$. Multijet ist syst. Unsicherheit.
- Erweitert, um die Jet Energie Skala in-situ simultan zu bestimmen
(dominierende Unsicherheit)

Ergebnis Matrix Element Methode (DØ)

Finde optimales m_t (und JES) für gemessene Daten,
d.h. maximiere Produkt der Wktn aller gemessenen Ereignisse:



$$m_t = 170.6^{+4.0}_{-4.7}(\text{stat} + \text{JES}) \pm 1.4(\text{syst}) \text{ GeV} \quad (b\text{-tagged, } 370 \text{ pb}^{-1})$$

F. Fiedler T602.6, Ph. Schieferdecker T602.7

Dilepton Kanal

Signal Signatur

- 2 Leptonen
- 2 Neutrinos
- 2 Jets aus b -Quarks

Untergrundklassen

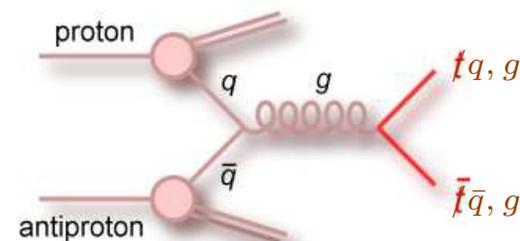
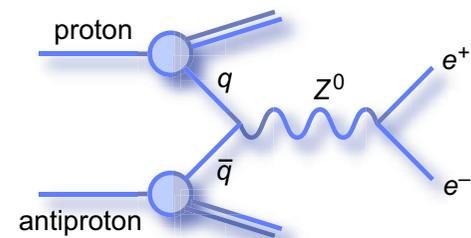
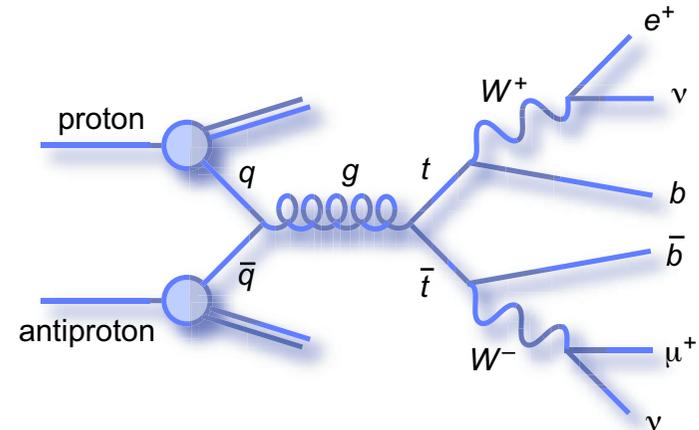
$WW + \text{jets}$ physikalischer Untergrund
 $Z + \text{jets}$
 Multijet (QCD)

} instrumenteller U.

Problem

Vierfach unterbestimmt durch 2ν .

\Rightarrow Verschiedene Annahmen möglich.



Neutrino Weighting (DØ)

Verwende gemessene Impulse und

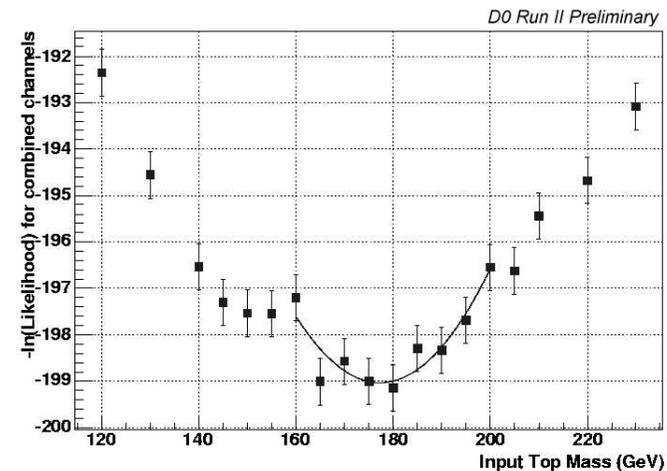
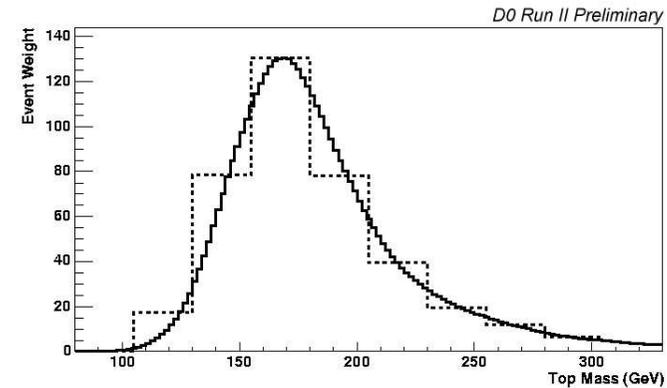
- m_W (2 Bedingungen)
- hypothetische m_t Werte (2 Bedingungen)
- η_ν und $\eta_{\bar{\nu}}$ Verteilung (2 Bedingungen)

und berechne transversale Neutrinoimpulse.

Gewichte die Annahme entsprechend der Übereinstimmung mit gemessenem \cancel{E}_T :

- Gewichtsverteilung pro Ereignis.
Detektorauflösung durch Wiederholung mit verschmierten Impulsmessungen.
- Topmasse aus Vergleich mit Simulation verschiedener Topmassen.

$$175.6 \pm 10.7(\text{stat}) \pm 6.0(\text{syst}) \text{ GeV} \quad (370 \text{ pb}^{-1})$$



J. Meyer T602.5

Matrix Element Weighting (DØ)

Verwende gemessene Impulse und \cancel{E}_T sowie

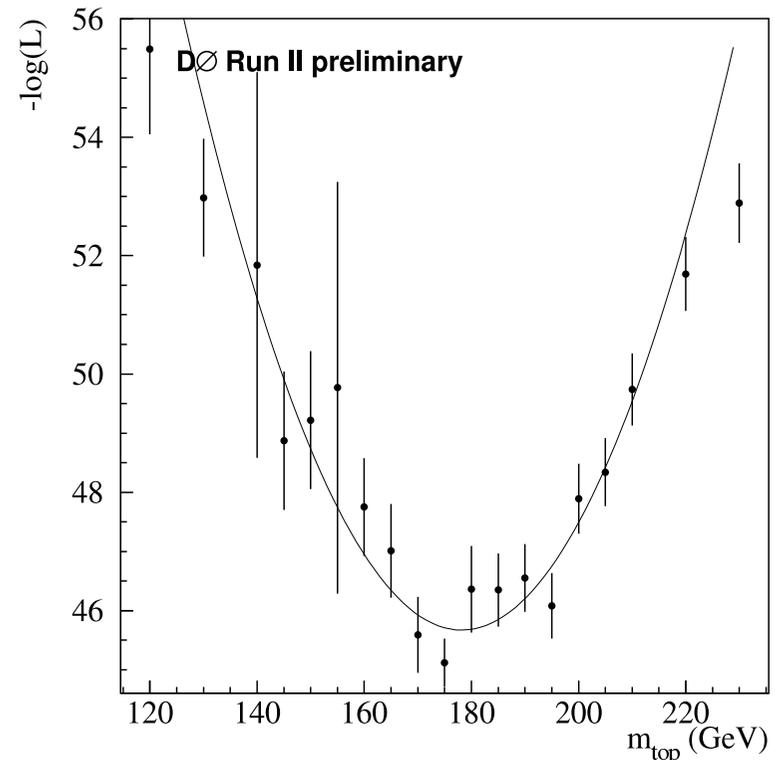
- m_W (2 Bedingungen)
- hypothetische m_t Werte (2 Bedingungen)

zur Berechnung der Impulse von t und \bar{t} (evtl. mehrere Lösungen).

Gewichte mit Partondichten und ME Wahrscheinlichkeit für $E_l, E_{\bar{l}}$:

- Gewichtsverteilung pro Ereignis.
Detektorauflösung durch Wiederholung mit verschmierten Impulsmessungen.
- Topmasse aus Vergleich mit Simulation verschiedener Topmassen.

$$176.6 \pm 11.2(\text{stat}) \pm 3.8(\text{syst}) \text{ GeV} \quad (b\text{-tagged, } 370 \text{ pb}^{-1})$$



Matrix Element (CDF)

Topmassen abhängige Wahrscheinlichkeit zur Beobachtung kinematischer Konfigurationen

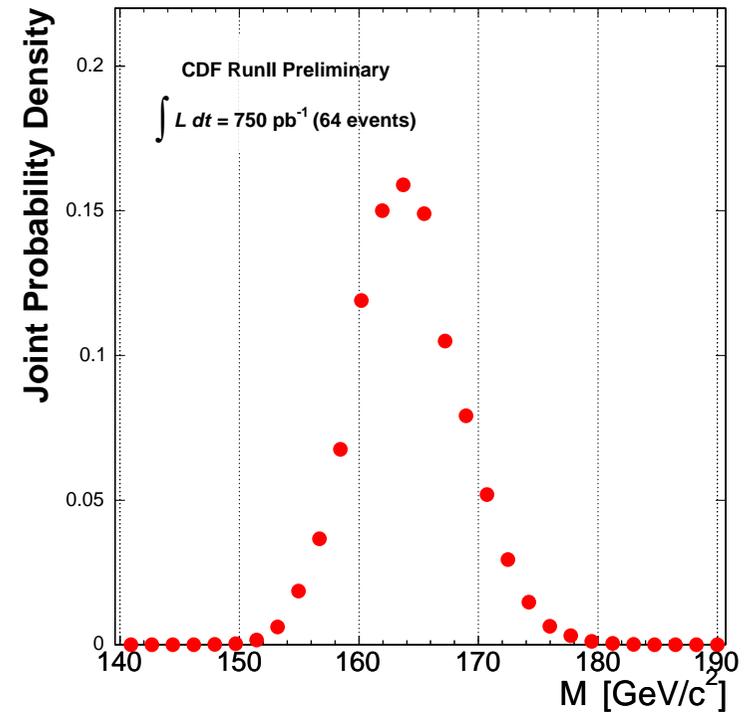
Faltung

- Partondichten
- hartes Matrix Element
- Detektorauflösung

(à la DØ $l+jets$)

Produkt über alle Ereignisse

⇒ Wahrscheinlichkeitsdichte abhängig von m_t



$$164.5 \pm 4.5(\text{stat}) \pm 3.1(\text{syst}) \text{ GeV} \quad (760 \text{ pb}^{-1})$$

Überblick über Tevatron Methoden

Semileptonisch ($l+jets$)

- Template Methode (CDF, $D\emptyset$)
 m_t Rekonstruktion in jedem Ereignis, nur eine Assoziation, alle Ereignisse gleich wichtig.
- Ideogramm Methode ($D\emptyset$)
 m_t Rekonstruktion in jedem Ereignis, Gewichtung der Ereignisse mit allen Assoziationen.
- Matrix Element Methode, Dynamic Likelihood (CDF, $D\emptyset$)
Gewichtung der Ereignisse mit allen Assoziationen, nutzt Winkelinformation.

Dileptonisch

- Neutrino-Wichtung (CDF, $D\emptyset$)
Annahmen über Neutrino η Verteilung.
- Matrix Element Wichtung (CDF, $D\emptyset$)
Annahmen über top p_T Verteilung.
- Matrix Element Methode (CDF)
Verwendet volle Kinematik aus ME.

*Semileptonisch mehr Statistik
Dileptonisch reinere Selektion*

Methoden vergleichbar gut

Kombination der Resultate

TeVWWG kombiniert RunI und RunII Ergebnisse beider Experimente.
Best Linear Unbiased Estimator (BLUE), d.h. berücksichtigt Korrelationen.

Systematische Unsicherheiten

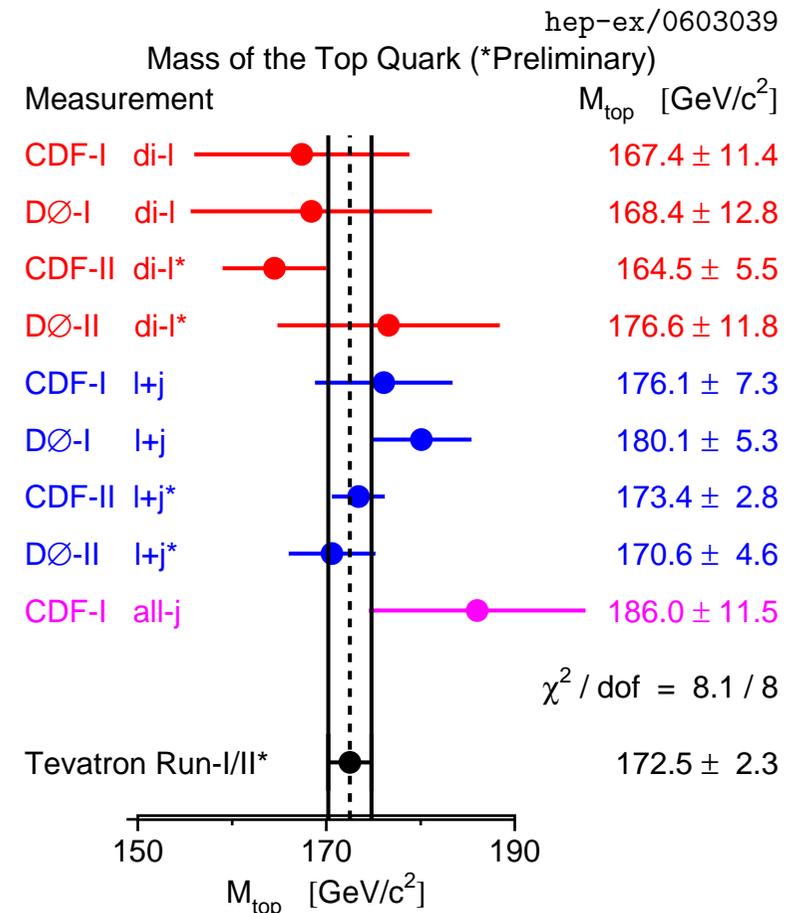
- Jet Energie Skala (leichte Quarks)
weiterhin dominierend
- Jet Energie Skala in b -jets
- Signal, Untergrund, . . .

Aktueller Weltmittelwert

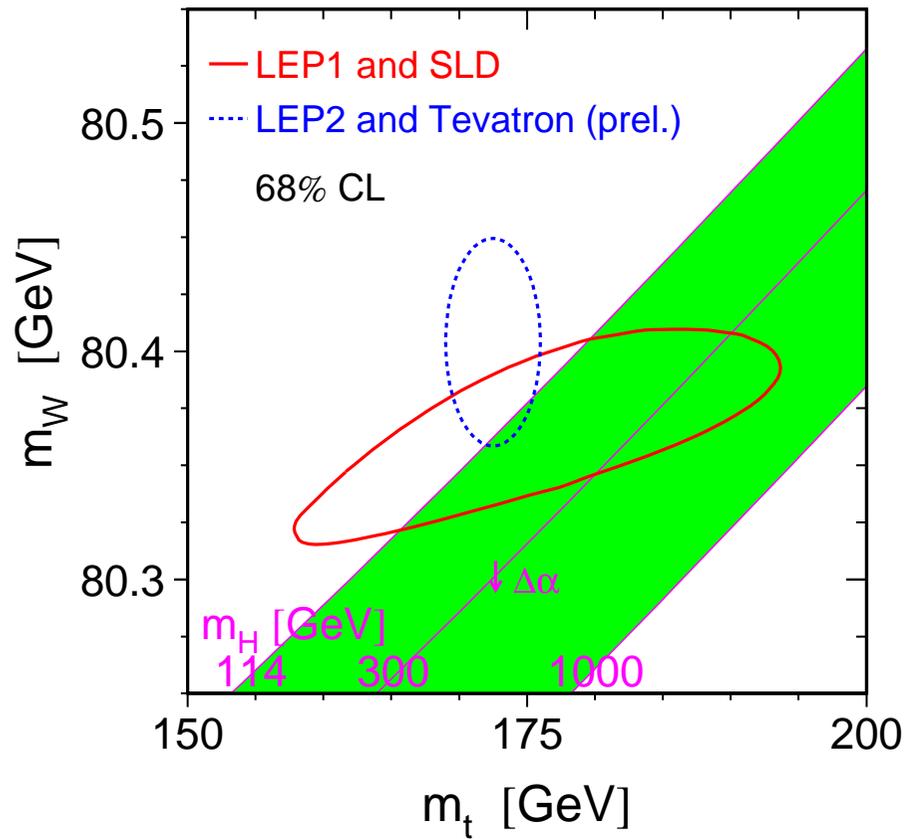
$$172.5 \pm 1.3(\text{stat}) \pm 1.9(\text{syst}) \text{ GeV}$$

Totale Unsicherheit: 2.3 GeV

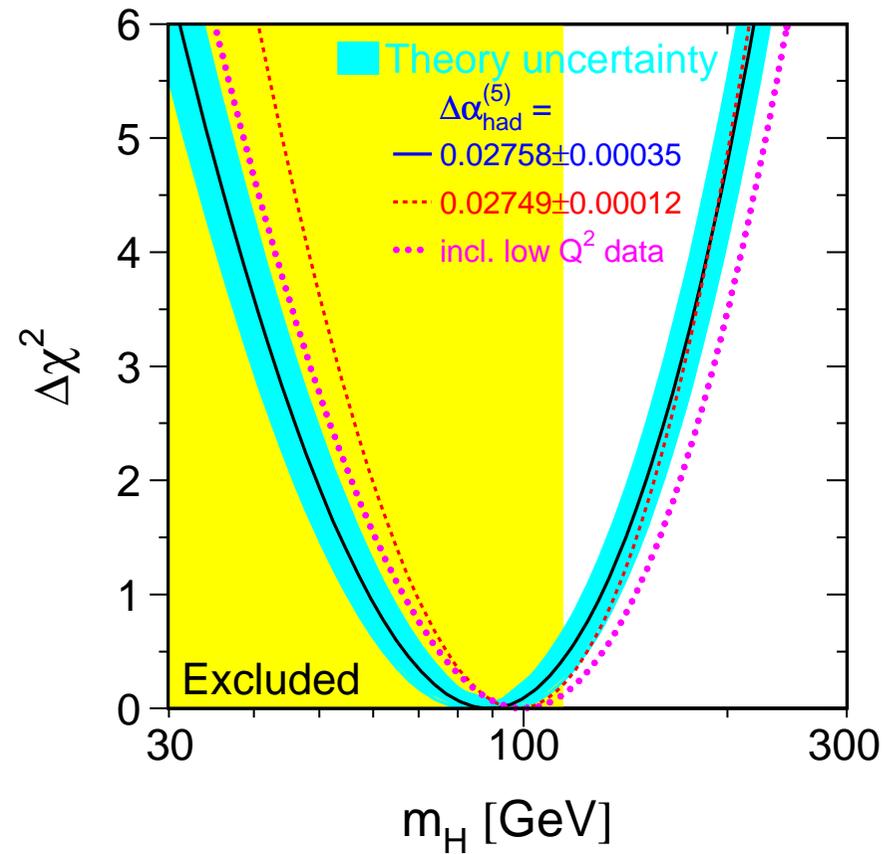
Alljets	$185.4 \pm 10.7 \text{ GeV}$
l +jets	$173.4 \pm 2.4 \text{ GeV}$
dilepton	$166.1 \pm 4.3 \text{ GeV}$



Konsequenzen



Kombinierte m_W und m_t Resultate berühren SM-Bereich nur knapp

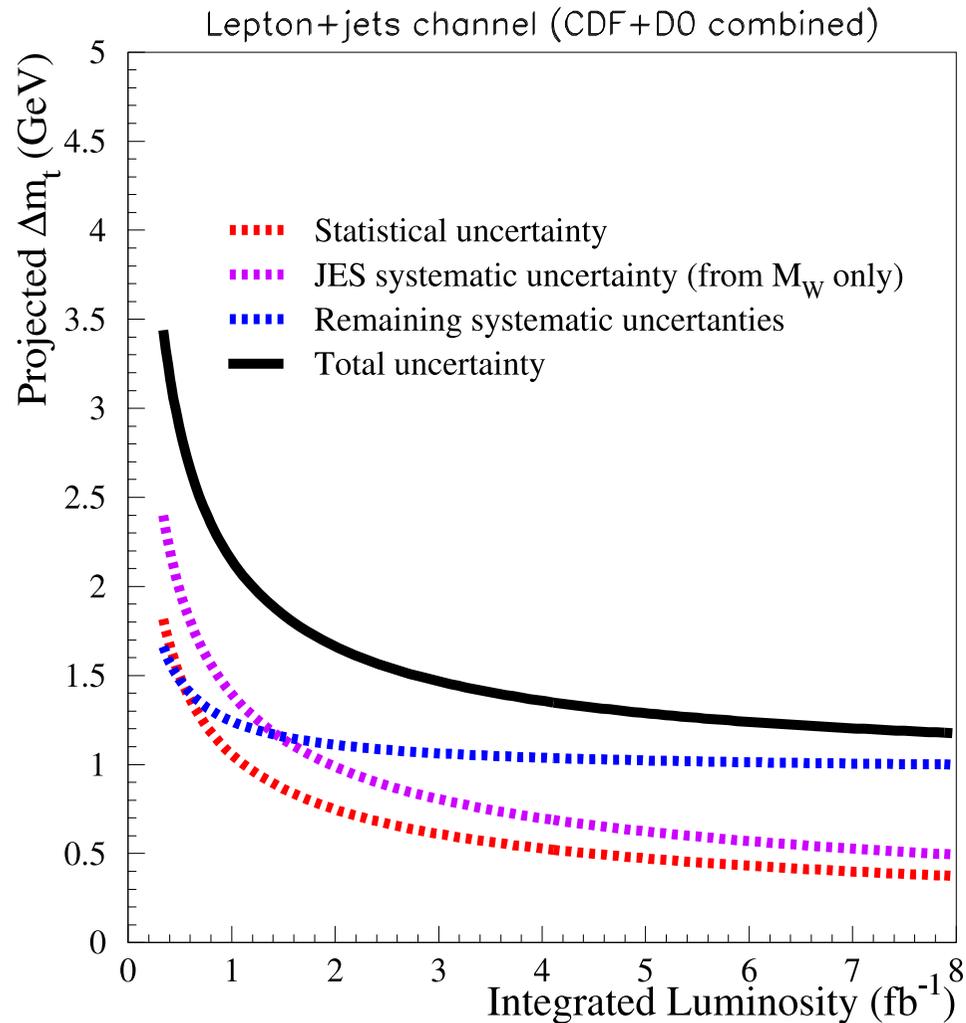


Higgsmassen Projektion
 $M_H \leq 207 \text{ GeV (95\%CL)}$

(inkl. untere Grenze)

Ausblick

Tevatron



- Tevatron RunII (–2009) erwartete integrierte Luminosität: $4\text{--}8 \text{ fb}^{-1}$.
- $\delta m_t \simeq 1.3 \text{ GeV} \simeq \Gamma_t$ (DØ+ CDF combined)
- Jet Energie Skala nicht mehr dominierende Systematik
 b -Jet Energie Skala und Untergrund aus schweren Quarks übernehmen

Ausblick auf LHC

Wirkungsquerschnitt 100fach größer als am Tevatron.

⇒ „Low Luminosity“-Betrieb 10 Millionen Toppaare pro Jahr.

- Atlas und CMS haben die Messung der Top Masse simuliert.

Lepton + jets:

- direkte Rekonstruktion
- Anpassung mit Nebenbedingungen
- aus leptonischen Endzuständen mit J/Ψ (stat. limitiert ⇒ für high Lumi.)

Dilepton: Weighting methods.

Alljets: direkte Rekonstruktion.

- Methoden haben unterschiedliche dominierende systematische Unsicherheiten.
- Aktuelle Studien erwarten $\delta m_t \simeq \pm 1 \text{ GeV}$

Zusammenfassung

- Das Top-Quark ist ein sehr interessantes Teilchen. Top Masse gibt Hinweise auf Higgs-Masse.
 - Tevatron zur Zeit einziges Labor für Top-Physik
 - RunII: Dilepton und semileptonischer Kanal analysiert. Jeweils mehrere Methoden mit ähnlicher Genauigkeit
 - Mittelung der Ergebnisse berücksichtigt Korrelationen
- $172.5 \pm 1.3(\text{stat}) \pm 1.9(\text{syst}) \text{ GeV}$
- DØ und CDF Studien erwarten $\delta m_t \simeq 1.3 \text{ GeV}$.
 - LHC wird eine Top-Quark Fabrik
 - Messungen systematisch dominiert
 - $\delta m_t \simeq 1 \text{ GeV}$ erwartet.

